

ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΖΩΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΚΟΤΟΠΟΥΛΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟ ΘΑΛΑΜΟ

Β. Ανέστης, Α. Γιούσσεφ, Β. Εξαδάκτυλος, Ντ. Μπέρκμανς

Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για την βελτίωση της διαβίωσής τους. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM Modelling) ώστε να εξηγηθούν η κινητικότητα και η επικάλυψη επιφανείας από κοτόπουλα 4 και 5 ημερών ως απόκριση σε βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος θέρμανσης και του ρυθμού αερισμού, μέσα σε ένα μικρό θάλαμο. Οι βηματικές μεταβολές επιλέχθηκαν με σκοπό να οδηγήσουν τα κοτόπουλα σε κατάσταση θερμικής δυσφορίας (καταπόνηση λόγω ζέστης και λόγω κρύου) κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Για τις ανάγκες της δυναμικής μοντελοποίησης της εργασίας αυτής η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες και εφαρμόστηκε η θεωρία μοντελοποίησης Συναρτήσεων Μεταφοράς (TF) διακριτού χρόνου. Βρέθηκε ότι κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας στην ολική επιφάνεια του θαλάμου ως απόκριση στη μέση θερμοκρασία του θαλάμου και στο ρυθμό αερισμού μπορεί να μοντελοποιηθεί με μοντέλα Συνάρτησης Μεταφοράς πρώτης τάξης με συντελεστές προσδιορισμού R^2 0.983 και 0.960, αντίστοιχα. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτόματο Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε αυτόν το μικρό θάλαμο κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου.

Λέξεις κλειδιά: κινητικότητα, επικάλυψη επιφανείας, DBM, μοντελοποίηση, MPC, TF, διακριτός χρόνος

DATA-BASED MECHANISTIC MODELLING OF YOUNG CHICKENS' ZONAL ACTIVITY AND OCCUPATION IN A SMALL VENTILATED CHAMBER

V. Anestis, A. Youssef, V. Exadaktylos, D. Berckmans

Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium

Daniel.Berckmans@biw.kuleuven.be

Control of broilers' activity could be potentially used as one of the existing inexpensive tools for improving their welfare. In the present work, the Data-based Mechanistic (DBM) modelling approach was used to explain the activity and occupation responses of 4 and 5 days old broilers to applied step-wise changes in electrical power and in ventilation rate inside a small chamber. These step-wise changes were applied with the purpose to create conditions of thermal discomfort for the broilers (either heat stress or cold stress) during the experiments. For the dynamic modelling purposes of this work the chamber area was separated into 9 equal imaginary zones and the discrete-time Transfer Function (TF) modelling theory was applied. It was found that the cumulative sum of broilers' activity index in the total chamber as a response to the average chamber temperature and to the ventilation rate under cold stress conditions can be modelled by a first order TF model with coefficients of determination R^2 0.983 and 0.960, respectively. These models can be potentially used for Model-based predictive control (MPC) of the chickens' activity inside this small chamber under cold stress conditions.

Key words: activity, occupation, DBM, modelling, MPC, TF, discrete-time

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε πυκνοκατοικημένες φάρμες θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για τον έλεγχο της καλής τους διαβίωσης (Kristensen *et al.*, 2006).

Ο επιτυχημένος αυτόματος έλεγχος του φυσικού μικροπεριβάλλοντος των κοτόπουλων σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον έλεγχο της κινητικότητάς τους, εφόσον αποκρίνονται (και κινούνται) με συγκεκριμένο τρόπο σε μεταβολές παραμέτρων που βιώνουν όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα και ο ρυθμός αερισμού (Prayitno *et al.*, 1997; Bizeray *et al.*, 2002; Kristensen *et al.*, 2006).

Please cite as:

V. Anestis, A. Youssef, V. Exadaktylos and D. Berckmans. Data-Based mechanistic modelling of young chickens' zonal activity and occupation in a small ventilated chamber. (in Greek) Proceedings of the 8th Conference of the Hellenic Society of Agricultural Engineers. Volos, Greece, 25-26 September 2013.

Μία εξελιγμένη μέθοδος για τον αυτόματο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο είναι η θεωρία Ελέγχου Προβλεπτικού Μοντέλου (Model-based Predictive Control, MPC) (Aerts *et al.*, 2003b). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, αυξημένη προσοχή δίνεται στους αισθητήρες που μετρούν τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου (π.χ. κινητικότητα κοτόπουλων, θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα) και στο μοντέλο της βιο-διεργασίας το οποίο συσχετίζει τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου με τις μεταβλητές ελέγχου εισόδου (π.χ. ρυθμός αερισμού, ρυθμός θέρμανσης/ ψύξης, ρυθμός ύγρανσης/ αφύγρανσης). Ένας λειτουργικός τρόπος μέτρησης της κινητικότητας των κοτόπουλων είναι με χρήση τεχνικών επεξεργασίας εικόνας (Leroy *et al.*, 2008). Εφόσον οι

αποκρίσεις των κοτόπουλων στο μικροπεριβάλλον τους είναι πολύπλοκες, χρονικά εξαρτώμενες και συγκεκριμένες για κάθε ζώο ξεχωριστά, είναι πιθανότερο να χρειάζονται τεχνικές δυναμικής μοντελοποίησης σε πραγματικό χρόνο για την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου της διεργασίας (Aerts *et al.*, 2003a). Ενδιαφέρουν τρεις κατηγορίες μοντέλων: α) τα μοντέλα Δεδομένων (Data-based), β) τα Μηχανιστικά μοντέλα (Mechanistic) και γ) τα Μηχανιστικά μοντέλα Δεδομένων (Data-based Mechanistic, DBM). Από τη μία μεριά, η πολυπλοκότητά τους έχει θέσει τα Μηχανιστικά μοντέλα ακατάλληλα για στόχους ελέγχου, από την άλλη όμως, λόγω της υψηλής τους ακρίβειας, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για την ανταλλαγή επιστημονικών πληροφοριών και για τη μελέτη της συμπεριφοράς της διεργασίας εμμέσως (off line) και μέσω προσομοιώσεων (Aerts *et al.*, 2000). Τα μοντέλα δεδομένων, δεν απαιτούν α priori υποθέσεις για το βιολογικό σύστημα, είναι πολύ απλούστερα από τα μηχανιστικά μοντέλα και μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν καλύτερα για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός βιοσυστήματος (Kristensen *et al.*, 2006). Τέλος, στη μηχανιστική μοντελοποίηση δεδομένων (DBM), το μοντέλο που σχηματίζεται μετά την ανάλυση των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο μόνο εάν μπορεί να έχει φυσική ερμηνεία σύμφωνα με τη φύση του βιολογικού συστήματος (Young, 2006).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εφαρμόσει την προσέγγιση της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) για να συσχετίσει τους δείκτες δυναμικής κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας νεαρών κοτόπουλων κρεατοπαγωγής οι οποίοι προκύπτουν από την επεξεργασία εικόνας, ως απόκριση σε:

α) μία μεταβολή (αύξηση και μείωση) της μέσης θερμοκρασίας που προκλήθηκε από βηματική μεταβολή (αύξηση και μείωση) της ηλεκτρικής ισχύος των θερμικών στοιχείων και για σταθερή τάση του ανεμιστήρα και

β) μία βηματική αύξηση της εφαρμοζόμενης ροής αερισμού καθώς τα κοτόπουλα βίωναν θερμοκρασία αυξημένη σε υψηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω ζέστης) καθώς και θερμοκρασία μειωμένη σε χαμηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω κρύου).

Υπάρχει η πρόθεση τα μοντέλα που προκύπτουν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας νεαρών κοτόπουλων κάτω από συνθήκες θερμικής δυσφορίας χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές ελέγχου εισόδου το ρυθμό αερισμού και την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται από τα θερμικά στοιχεία και ως μεταβλητές ελέγχου εξόδου τους δείκτες κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας των κοτόπουλων και τις μετρούμενες θερμοκρασίες.

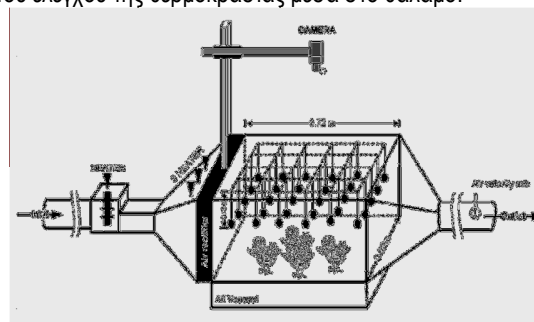
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματική Διάταξη

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν μικρής κλίμακας θάλαμο εξοπλισμένο με όργανα μέτρησης που βρίσκεται στο Κέντρο Μηχανικής Αγροτικών και Βιολογικών Συστημάτων της Leuven (LABEC) του Τμήματος Βιοσυστημάτων του Καθολικού Πανεπιστημίου της Leuven (KU Leuven), στο Βέλγιο.

Ο πειραματικός θάλαμος (Εικόνα 2.1.) είχε τις ακόλουθες εσωτερικές διαστάσεις: μήκος=0.72m, πλάτος=0.62m και ύψος=0.385m. Οι πλευρές και το πάνω μέρος του θαλάμου ήταν κατασκευασμένες από διάφανο plexiglas μέσα σε πλαίσιο αλουμινίου. Επίσης διαφορετικά είδη συστημάτων αγωγών ήταν συνδεδεμένα στην είσοδο και έξοδο του θαλάμου με σκοπό να διευκολύνουν την είσοδο και έξοδο του αέρα μέσα σε αυτόν.

Τόσο οι αισθητήρες όσο και οι ενεργοποιητές ήταν εγκατεστημένοι στη διάταξη για την πραγματοποίηση του ελέγχου της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο.



Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση του θαλάμου για την παρακολούθηση της κινητικότητας των κοτόπουλων.

Όσον αφορά στους ενεργοποιητές, τέσσερα ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης και δύο αξονικοί ανεμιστήρες είχαν εγκατασταθεί. Όλα τα θερμαντικά στοιχεία και ο ένας αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένα στην είσοδο του αέρα στο θάλαμο, ενώ ο άλλος αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένος στην έξοδο του αέρα από το θάλαμο για να υποχρεώνει τον αέρα σε έξοδο. Η συνολική μέγιστη θερμαντική ισχύς ήταν 2040W, ενώ η μέγιστη ισχύς κατανάλωσης των ανεμιστήρων ήταν 15W. Τόσο ο ρυθμός θέρμανσης όσο και ο ρυθμός αερισμού μπορούσαν να ελεγχθούν τόσο χειροκίνητα μέσω κουτιών ελέγχου (FANCOM, The Netherlands) όσο και αυτόματα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή μετά την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού ή του MATLAB.

Όσον αφορά στους αισθητήρες, δύο είδη είχαν συνδεθεί στο σύστημα: 30 αισθητήρες θερμοκρασίας και ένας αισθητήρας για την ταχύτητα αέρα. Οι 30 αισθητήρες θερμοκρασίας (LM35 semiconductors) είχαν τοποθετηθεί ομοιόμορφα μέσα στο θάλαμο σε ένα 6x5 διδιάστατο πλέγμα με τέτοιο τρόπο ώστε να αιωρούνται 0.16m κάτω από την οροφή του και μέσα στον άδειο χώρο του. Ο αισθητήρας ταχύτητας αέρα (EE70-VT3) είχε εγκατασταθεί στην έξοδο του αέρα σε τέτοια θέση ώστε να διασφαλίζεται η ακριβής μέτρηση της μέγιστης ταχύτητας του αέρα.

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή (National Instrument) τύπου NIDAG USB-6225 Pinout στην οποία είχαν συνδεθεί τόσο οι αισθητήρες (analogue input) όσο και τα κουτιά ελέγχου για τους ενεργοποιητές (analogue output). Με τη χρήση ενός κώδικα MATLAB γινόταν μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά χρησιμοποιώντας τη συσκευή ως διασύνδεση.

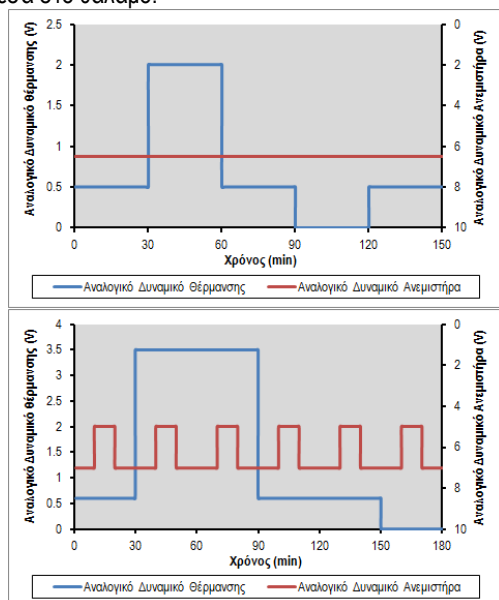
Τέλος, μία κάμερα Sony HDR-CX560VE χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της κινητικότητας των κοτόπουλων ως απόκριση στις μεταβολές στο ρυθμό θέρμανσης και αερισμού. Η κάμερα είχε εγκατασταθεί 0.85m πάνω από την οροφή του θαλάμου και λειτουργούσε με συχνότητα 25 frames per second και ανάλυση 1440x1080 pixels.

2.2. Πειράματα

Πραγματοποιήθηκαν δύο τύποι πειραμάτων. Στον πρώτο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη ηλεκτρική ισχύ για σταθερό ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.).

Στο δεύτερο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη θερμική ισχύ για διαφορετικές βηματικές μεταβολές στο ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.). Έτσι, η κινητικότητα των κοτόπουλων μπορούσε να εξετασθεί κάτω από συνθήκες θερμικής άνεσης, καταπόνησης λόγω ζέστης και καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα πειράματα έγιναν πάνω σε διαφορετικές ομάδες 9 κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής (εκτροφή: Ross 308). Οι ηλικίες που εξετάστηκαν ήταν 4 και 5 ημερών. Κάθε πειραματική εκτέλεση λάμβανε χώρα με διαφορετική ομάδα πτηνών τα οποία ήταν ελεύθερα να κινηθούν μέσα στο θάλαμο.



Διάγραμμα 2.1. Οι βηματικές μεταβολές του αναλογικού δυναμικού θέρμανσης και του αναλογικού δυναμικού του ανεμιστήρα για τις δύο πειραματικές εκτελέσεις.

2.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

2.3.1. Επεξεργασία εικόνας

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σύστημα Eyenamic που αναπτύχθηκε από τους Leroy et al. (2008). Δύο παράμετροι εισήχθησαν για τη μέτρηση της αντίδρασης των κοτόπουλων στους παράγοντες θέρμανσης και αερισμού: ο δείκτης κινητικότητας και ο δείκτης επικάλυψης επιφανείας. Ο δείκτης κινητικότητας αποτελεί μία μέτρηση του πώς οι εντάσεις των pixels διαφέρουν μεταξύ διαδοχικών λήψεων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κινητικότητας. Ο δείκτης επικάλυψης επιφανείας αντιπροσωπεύει το ποσοστό της επιφανείας του θαλάμου που καλύπτεται από τα κοτόπουλα. Και οι δύο δείκτες ορίζονται για κάθε χρονική στιγμή και για τις ανάγκες υπολογισμού τους η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες

2.3.2. Προσέγγιση Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM)

Η στρατηγική της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές φάσεις οι οποίες εξετάζονται από τον Young (2011). Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα είναι ο καθορισμός των στόχων της ανάλυσης καθώς και του τύπου μαθηματικού μοντέλου που είναι κατάλληλο για την πραγματοποίηση των στόχων αυτών.

Πρώτος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μεταβολές στη μέση ζωνική και ολική θερμοκρασία του θαλάμου που προκλήθηκαν από βηματικές μεταβολές (αύξηση και μείωση) στην καταναλωμένη ηλεκτρική ισχύ. Κατά τη βηματική αύξηση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση τα κοτόπουλα να βιώσουν καταπόνηση λόγω ζέστης. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες υψηλότερες των 36°C (Cangar, 2011). Κατά τη βηματική μείωση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση να βιώσουν καταπόνηση λόγω κρύου. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες χαμηλότερες των 33°C (Cangar, 2011).

Δεύτερος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μία βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τόσο όταν τα κοτόπουλα βίωναν κατάσταση καταπόνησης λόγω ζέστης όσο και κατάσταση καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα δείγματα εικόνας και δεδομένων καταγράφονταν κάθε δευτερόλεπτο ή σε διακριτές χρονικές στιγμές υποδηλώνοντας ότι μία ιδανική κατηγορία μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή της συμπεριφοράς του συστήματος είναι τα μοντέλα Συναρτήσεων Μεταφοράς Διακριτού Χρόνου (Discrete-Time Transfer Function). Τα μοντέλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά για αυτή την προσέγγιση μοντελοποίησης καθώς και για τον Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός συστήματος (Pedregal et al., 2007). Για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ο τύπος μοντέλων μίας εισόδου, μίας εξόδου (SISO).

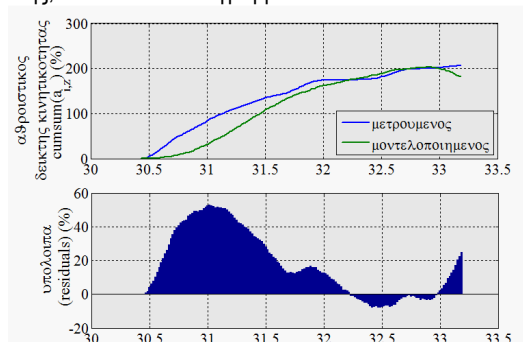
Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συναρτήσεις του CAPTAIN Toolbox (Pedregal *et al.*, 2007) σε περιβάλλον εργασίας MATLAB. Για τον 1^ο στόχο, η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας (ζωνικής και ολικής) τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ σαν μεταβλητές εξόδου τέθηκαν ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Για την εκπλήρωση του 2^{ου} στόχου, η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ ξανατέθηκαν ως μεταβλητές εξόδου ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Δύο στατιστικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση των κατάλληλων μοντέλων, ο Συντελεστής Προσδιορισμού R^2 και το Κριτήριο Ταυτοποίησης του Young (YIC). Επιπλέον, για την εγκυρότητα των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα των εκτιμώμενων υπολοίπων των μοντέλων σε συνάρτηση του χρόνου. Περισσότερες πληροφορίες για την εκτίμηση των παραμέτρων των μοντέλων αυτών, τα κριτήρια ταυτοποίησής τους, καθώς και για την εγκυρότητά τους είναι διαθέσιμες στο βιβλίο του Young (2011).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μεταβλητή αθροιστικός δείκτης κινητικότητας $cumsum(a(k))$ (και ο αντίστοιχος δείκτης για την επικάλυψη επιφάνειας, $cumsum(o_i(k))$) λόγω του ορισμού της αντιπροσωπεύει τη χρονική εξέλιξη του δείκτη κινητικότητας και η χρήση της σαν μεταβλητή εξόδου είναι ισοδύναμη με τη χρήση του δείκτη κινητικότητας.

3.1. Βηματική αύξηση και μείωση στην ηλεκτρική ισχύ

Για την χρονική περίοδο βηματικής αύξησης της ηλεκτρικής ισχύος που εξετάστηκε, παρατηρήθηκε ότι τα πηγάκια κινούνται μόνο στις φανταστικές ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας. Παρόλα αυτά, η κινητικότητά τους ήταν χαμηλή. Το προσαρμοσμένο μοντέλο για μία από αυτές τις ζώνες και τα υπόλοιπα του μοντέλου αυτής, δίνονται στο Διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1. Ο μετρούμενος και ο μοντελοποιημένος αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και το αντίστοιχο διάγραμμα υπολοίπων για μία από τις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας.

Παρότι η προσαρμογή του μοντέλου είναι ικανοποιητική ($R^2=89.43\%$), το μοντέλο δεν είναι

έγκυρο εφόσον τα υπόλοιπα δε φαίνονται να κατανέμονται κανονικά γύρω από το μηδέν. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τις άλλες δύο ζώνες, όπως και στην περίπτωση του αθροιστικού δείκτη επικάλυψης επιφανείας $cumsum(o_i(k))$. Το γεγονός ότι τα μοντέλα αυτά δεν είναι έγκυρα μπορεί να αποδοθεί στην πολύ μικρή χρονική περίοδο για την οποία έγινε η μοντελοποίηση, μέσα στην οποία τα κοτόπουλα δεν μπορούν αποκριθούν ξεκάθαρα στην αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό πιθανώς συμβαίνει λόγω της χαμηλής θερμορυθμιστικής τους δυνατότητας που οφείλεται στο μικρό της ηλικίας τους (Cangar, 2011). Έτσι, πιθανώς να χρειάζονται περισσότερο χρόνο έκθεσης σε συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης για να ανταποκριθούν.

Για τη χρονική περίοδο βηματικής μείωσης της ηλεκτρικής ισχύος, παρατηρήθηκε ότι στις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας υπήρχε αυξητική τάση της κινητικότητας των κοτόπουλων για τα πρώτα 4-5 λεπτά μετά την εφαρμογή της μεταβολής και τάση μείωσης από εκεί και μετά. Επιπλέον, όλες οι ζώνες ήταν ομοιόμορφα καλυμμένες αλλά κοντά στο τέλος της περιόδου μοντελοποίησης παρατηρήθηκε συγκέντρωση των κοτόπουλων στις ζώνες κοντύτερα στην εισροή αέρα, συμπεριφορά που αναμενόταν. Σχεδόν όλα τα μοντέλα έδειξαν δυναμική απόκριση 1^{ης} τάξης (αλλά διαφορετικές δομές μοντέλων) τόσο για τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας όσο και για αυτόν της επικάλυψης επιφανείας και σχεδόν όλα βρέθηκαν έγκυρα. Το έγκυρο μοντέλο που αντιστοιχεί στον ολικό αθροιστικό δείκτη κινητικότητας μπορεί να γραφεί ως εξής ($R^2=0.983$):

$$y(k) = -a_1 \cdot y(k-1) + b_3 \cdot u(k-3) + b_4 \cdot u(k-4) \quad (3.1.)$$

Στην εξίσωση (3.1.), $y(k)$ είναι η μεταβλητή εξόδου του συστήματος (ολικός αθροιστικός δείκτης κινητικότητας) και $u(k)$ η μεταβλητή εισόδου του συστήματος (μέση θερμοκρασία θαλάμου). Η τιμή της παραμέτρου a_1 αντιπροσωπεύει την επίδραση της κινητικότητας των κοτόπουλων, την προηγούμενη χρονική στιγμή, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους μέσα στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Η τιμή της παραμέτρου b_3 αντιπροσωπεύει την επίδραση της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου, 3 χρονικές στιγμές νωρίτερα, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Όμοια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την τιμή της παραμέτρου b_4 .

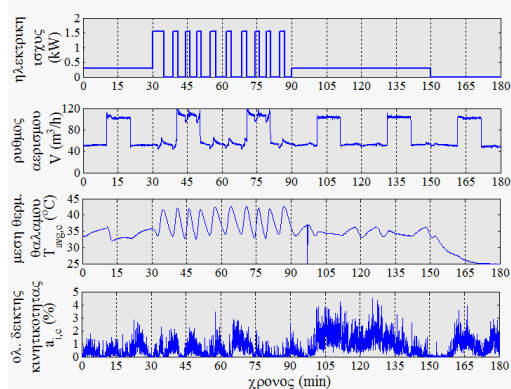
3.2. Βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης, μετά την εφαρμογή της βηματικής αύξησης, δε φάνηκε να μεταβάλλεται η κινητικότητά τους σε καμία από τις ζώνες. Ήταν λοιπόν λογικό το γεγονός ότι κανένα από τα μοντέλα συσχέτισης τόσο του αθροιστικού δείκτη κινητικότητας όσο και αυτού της επικάλυψης επιφανείας με την βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού, δεν ήταν έγκυρο. Ξανά η μικρή περίοδος έκθεσης στο συνδυασμό αυξημένου ρυθμού αερισμού και υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να θεωρηθεί ως μία

σημαντική αιτία για την μη-εγκυρότητα των μοντέλων (Διάγραμμα 3.2).

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, τα περισσότερα μοντέλα που συσχετίζουν τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας με τη βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού είναι συναρτήσεις μεταφοράς 1^{ης} τάξης, με υψηλούς R^2 και έγκυρα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του ολικού αθροιστικού δείκτη κινητικότητας ($R^2 = 0.960$). Παρόλα αυτά η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού δε φάνηκε να επιρρεάζει το δείκτη επικάλυψης επιφανείας (μη-έγκυρα μοντέλα), αλλά υπήρχε η τάση τα πτηνά να κινούνται για να έρθουν όσο το δυνατόν πιο κοντά, πιθανόν για να ελαττώσουν όσο το δυνατό περισσότερο την επιφάνεια του σώματός τους σε επαφή με τον αέρα.

Στην πράξη, έγινε ένα πρώτο βήμα πρόβλεψης της κινητικότητας από την ηλεκτρική ισχύ θέρμανσης και το ρυθμό αερισμού, ξεχωριστά, κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου και για τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες. Σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής, είναι απαραίτητη η συνεχής και ταυτόχρονη μέτρηση σε πραγματικό χρόνο και με αξιόπιστους αισθητήρες όλων των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η κινητικότητα όπως και η συνεχής αναπροσαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης, σύμφωνα με τις ανάγκες της διεργασίας που έχει ως κέντρο κάθε ζώο ξεχωριστά.



Διάγραμμα 3.2. Η χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου ($T_{avg,c}$) και του ολικού δείκτη κινητικότητας (ai,c) σε σχέση με τις βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος και του ρυθμού αερισμού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης βρέθηκαν μοντέλα μη-έγκυρα, τόσο για την ηλεκτρική ισχύ όσο και για ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Αυτό αποδόθηκε στη μικρή χρονική περίοδο έκθεσης και στη χαμηλή θερμορυσμιακή ικανότητα των κοτόπουλων τόσο μικρής ηλικίας. Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου βρέθηκαν 1^{ης} τάξης συναρτήσεις μεταφοράς συσχέτισης του ολικού αθροιστικού δείκτη κινητικότητας τόσο με την ηλεκτρική ισχύ όσο και με τη ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς

Ελέγχου Προβλεπτικού Μοντέλου της κινητικότητας μέσα στον μικρό αυτό θάλαμο, λόγω του ότι είναι απλά και έχουν φυσική ερμηνεία. Παρόλα αυτά, πρόσθετα πειράματα στα οποία τα κοτόπουλα θα εκτίθενται σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους καταπόνησης λόγω ζέστης είναι απαραίτητα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Η προσαρμογή των πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής και η ενδεχόμενη προσθήκη επιπλέον παραμέτρων (π.χ. σχετική υγρασία, πυκνότητα ζωικού κεφαλαίου), θα μπορούσε να οδηγήσει σε μοντέλα πρόβλεψης βάσει των οποίων η καταγραφή της κινητικότητας και της επικάλυψης επιφανείας θα κινητοποιεί αυτόματο σύστημα ρύθμισης των παραμέτρων αυτών με στόχο τη συνεχή θερμική άνεση των πτηνών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aerts, J.M., Berckmans, D., Saevels, P., Decuyper, E., Buyse, J., 2000. Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. *British Poultry Science* 41, 651-659.
- Aerts, J.M., Van Buggenhout, S., Vranken, E., Lippens, M., Buyse, J., Decuyper, E., Berckmans, D., 2003a. Active control of the growth trajectory of broiler chickens based on online animal responses. *Poultry Science* 82, 1853-1862.
- Aerts, J.M., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2003b. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: Development of an integrated management system. *Biosystems engineering* 84, 257-266.
- Bizeray, D., Estevez, I., Leterrier, C., Faure, J.M., 2002. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. *Poultry Science* 81, 767-773.
- Cangar, Ö., 2011. Monitoring and control applications in determination of health and welfare related behavioural aspects of livestock. Department of Biosystems. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, p. 244.
- Kristensen, H.H., Aerts, J.M., Leroy, T., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2006. Modelling the dynamic activity of broiler chickens in response to step-wise changes in light intensity. *Appl Anim Behav Sci* 101, 125-143.
- Leroy, T., Borgonovo, F., Costa, A., Aerts, J.M., Guarino, M., Berckmans, D., 2008. Real-time measurement of pig activity in practical conditions. *Livestock Environment VIII : ASABE 8. International Symposium. ASABE*, pp. 12 - 12.
- Pedregal, D.J., Taylor, C.J., Young, P.C., 2007. System Identification, Time Series Analysis and Forecasting. The Captain Toolbox. Lancaster University, Lancaster, United Kingdom.
- Prayitno, D.S., Phillips, C.J.C., Stokes, D.K., 1997. The effects of color and intensity of light on behavior and leg disorders in broiler chickens. *Poultry Science* 76, 1674-1681.
- Young, P.C., 2006. The data-based mechanistic approach to the modelling, forecasting and control of environmental systems. *Annual Reviews in Control* 30, 169-182.
- Young, P.C., 2011. Recursive Estimation and Time-Series Analysis. An Introduction for the Student and Practitioner. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.